

Jussi Syrjälä

Vesi/metanoliruiskutus turbodieselmoottorissa

Asennus ja vaikutukset

Opinnäytetyö

Kevät 2010

Tekniikan yksikkö

Auto ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Auto- ja työkonetekniikan suuntautumisvaihtoehto



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö
Koulutusohjelma: Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Jussi Syrjälä

Työn nimi: Vesi/metanoliruiskutus turbodieselmoottorissa

Ohjaaja: Hannu Ylinen

Vuosi: 2010

Sivumäärä: 42

Liitteiden lukumäärä: 10

Opinnäytetyössäni käsitellään sitä, miten imuilman sekaan ruiskuttava vesi/metanoliruiskutusjärjestelmä vaikuttaa turbodieselmoottorin toimintaan. Tarkoituksena oli selvittää ruiskutuksen tuomat edut ja haitat moottorin ominaisuuksiin. Tässä työssä pääkohtina ovat ruiskutuksen vaikutukset ahto- ja pakokaasujen lämpötiloihin, tehon ja vääntömomentin muutokset sekä muutokset pakokaasupäästöissä.

Muutoksia parametreihin selvitettiin maantiekokeilla sekä tehodynamometrissä suoritetuilla kokeilla. Kokeet osoittivat ahto-, ja pakokaasujen lämpötilojen laskevan, tehon sekä vääntömomentin nousevan sekä pakokaasujen typen oksidipitoisuuden laskevan.

Vesi/metanoliruiskutuksen todettiin olevan varteenotettava vaihtoehto kehittää moottorin suorituskykyä ja luotettavuutta sekä alentaa pakokaasujen typen oksidipitoisuutta. Tähän päästään alentuneiden moottorin sisäisten lämpötilojen kautta.

Asiasanat: Dieselmoottorit, pakokaasut

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automotive and Transportation Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Jussi Syrjälä

Title of the thesis: Water/alcohol injection of the turbo diesel engine

Supervisor: Hannu Ylinen

Year: 2010

Number of pages: 42 Number of appendices: 10

My thesis handles how the water/alcohol injection affects the turbo diesel engine operation. The purpose was to determine the advantages and disadvantages of spraying to the engine characteristics. In this work the main concerns are the effects of spraying to charged air and exhaust temperatures, power and torque changes and the changes of the emissions.

The changes of the temperatures were studied with road tests, as well as in the dynamometer. The power and torque were measured out by a dynamometer. The tests showed that the boost and exhaust temperatures fall as well as the concentration of the nitrogen oxides in the exhaust gases. The power and torque both increased.

As a conclusion it was found out that the water/alcohol injection is a viable option for an engine tuner to increase the reliability of the engine due to the lower internal temperatures and to increase the power and torque output and also to reduce the nitrogen oxide concentration in the exhaust gases.

Keywords: diesel engines, exhaust gases.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

1 JOHDANTO	9
2 TYPEN OKSIDIT JA NIIDEN HALLINTA	
DIESELMOOTTORISSA	10
2.1 Typen oksidit ja näkyvä savutus.....	10
2.2 Kuivat järjestelmät.....	11
3 VESI/METANOLIRUISKUTUKSEN TEORIAA	13
3.1 Yleistä	13
3.2 Ruiskutuksen jäähdyttävä vaikutus	13
3.3 Ruiskutuksen vaikutukset päästöihin	15
3.4 Ruiskutuksen käytön historiaa.....	15
4 JÄRJESTELMÄN ASENNUS	18
4.1 Asennettava järjestelmä	18
4.1.1 Pumppu.....	18
4.1.2 Suuttimet.....	19
4.2 Kohdeajoneuvo	21
4.3 Järjestelmän asennus	24
4.3.1 Mekaanisten osien asennus.....	24
4.3.2 Sähköjärjestelmän asennus	26
4.4 Ruiskutettava neste.....	28
5 TESTIAJOT	30
5.1 Mittalaitteiden asennus testiautoon	30
5.2 Testaustapa	31
6 TULOKSET JA ARVIINTI	33
6.1 Pakolämpötilojen muutokset maantieajossa	33

6.2 Ahto- ja pakolämpötilojen muutokset tehodynamometrissä ajetuissa testeissä	33
6.3 Tehon ja vääntömomentin muutokset	36
6.4 Muutokset NO _x -pitoisuuksissa	39
6.5 Tulosten arviointi	39
7 YHTEENVETO.....	41
LÄHTEET.....	42
LIITTEET.....	43

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

VNT	Variable nozzle turbine. Muuttuvasiipinen ahdin
NO_x	Typen eri oksidit
LDA	Ahtopainesäätöinen enimmäisainemäärän rajoitin
EGT	Exhaust gas temperature. Pakokaasun lämpötila
DPF	Diesel particulate filter. Pienhiukkassuodatin
VOC	Volatile organic compounds. Haihtuvat orgaaniset hiilivedyt
EGR	Exhaust gas recirculation. Pakokaasujen takaisinkierätyt
SCR	Selective catalytic reduction. Valikoiva katalyyttinen pelkistys
HAM	Humid air motor. Ahtoilman kostutus
FWE	Fuel water emulsion. Vesi/polttoaine-emulsio
DWI	Direct water injection. Suora vesiruiskutus

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Pumppu.	19
Kuva 2. Suutin.....	20
Kuva 3. Takaiskuventtiili ja suutin.	21
Kuva 4. Pumpun ja suuttimen asennus.....	25
Kuva 5. Kytkäkaavio.	28
Kuva 6. Auto tehodynamometrissä.	31
Kuva 7. Lämpötilakuvaaja ilman ruiskutusta.	35
Kuva 8. Lämpötilakuvaaja ruiskutus päällä 5GPH suutin. Ruiskutus lähtee päälle kohdassa $t=16s$	35
Kuva 9. Lämpötilakuvaaja ruiskutus päällä 7GPH suutin. Ruiskutus lähtee päälle kohdassa $t=30s$	36

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni tavoitteena on tutkia, kuinka vesi/metanolisuihkutus vaikuttaa turbodieselmoottorin käyttöominaisuuksiin, kuten tehoon sekä vääntömomenttiin sekä pakokaasupäästöihin etenkin typen oksideissa, eli NO_x:eissa. Työssä keskitytään tarkemmin vain moottorin imuilmaan ruiskuttaviin järjestelmiin. Teoriassa tutustutaan myös muutamiin muihin veden tai muiden nesteiden ruiskuttamiseen perustuviin järjestelmiin.

Työssä käsitellään myös vaiheittain ruiskutusjärjestelmän asennus kohdeajoneuvoon ja koeajot sekä tehodynamometrissä että maantiellä ruiskutuksen vaikutusten esilletuomiseksi.

2 TYPEN OKSIDIT JA NIIDEN HALLINTA DIESELMOOTTORISSA

2.1 Typen oksidit ja näkyvä savutus

Nykyään päästönormit rajaavat uusien moottoreiden typen oksidien eli NOx:ien määrää yhä vain alemmas. Dieselmoottoreista mitataan vuosikatsastuksissa vain näkyvä savutus, eli K-arvo, mutta siihen ei tässä työssä ole tarkoitus keskittyä, sillä K-arvon hallinta nykydieseleissä moderneilla moottorinohjauksilla on helppoa. Näkyvä savutus pidetään kurissa riittävällä moottorin ilmaylimäärällä, jolloin palaminen sylintereissä on mahdollisimman täydellistä. Toisaalta suuri ilmaylimäärä nostaa palamisen lämpötilaa, jolloin NOx-pitoisuudet pakokaasuissa nousevat. Tämä aiheuttaakin pienen ristiriidan moottorisuunnittelijoille. Myös pienhiukkasloukkuja (DPF) on käytössä. Nämä ovat yksinkertaisesti keraamisia suodattimia, jotka pyydystävät pienhiukkaset pakokaasujen seasta. Kun ohjainlaite havaitsee riittävän paine-eron hiukkasloukussa sen alkaessa tukkeutua hiukkasista, hiukkasten poltto käynnistyy. Tällöin ohjainlaite säättää moottorin parametrejä nostaen pakokaasujen lämpötilaa hetkellisesti, jolloin suodatin palaa puhtaaksi. (Bosch 2002, 596.)

Typen oksidit syntyvät hapen (O) ja typen (N) reagoidessa keskenään kovassa kuumuudessa. Niinpä palotapahtuman lämpötilaa laskemalla saadaan vähennettyä NOx:ien syntymistä tehokkaasti. Tähän palolämpötilan alentamiseen suurin osa NOx:ien vähentämisestä perustuukin. (Bosch 2002, 602.)

NOx:eista puhuttaessa tarkoitetaan useimmiten typpioksidia NO sekä typpidioksidia NO₂. NOx:ien muodostuminen on endoterminen eli lämpöä sitova reaktio, jolloin se osaltaan huonontaa moottoreiden hyötysuhdetta hieman. NOx:it ovat haitallisia ympäristölle ja eliöille. Yhdessä VOC:ien kanssa auringonvalossa NOx:it muodostavat savusumua eli smogia. NOx:it myös edistävät kasvihuoneilmiötä sekä maaperän happamoitumista. NOx-rajojen alittamiseen on keksitty useita eri keinoja, joista dieselmoottoreissa on vallalla kaksi eri tyyppiä:

EGR sekä SCR. Molemmilla järjestelmillä on omat hyvät ja huonot puolensa. (Hiilitieto, [viitattu 10.5.2010].)

2.2 Kuivat järjestelmät

SCR-järjestelmässä ei tarvitse välittää moottorin palotapahtuman tuottamista typen oksideista, sillä ne poistetaan pakokaasuista tehokkaasti jälkikäteen. Tällöin moottori voidaan suunnitella ja rakentaa hyötysuhteeltaan hyväksi. Järjestelmässä typen oksidit pelkistetään erityisessä katalysaattorissa urealiuoksen avulla typeksi ja vedeksi. Urealiuosta ruiskutetaan katalysaattoriin 3–5 % polttoainemäärästä. Järjestelmän haittapuolena on sen tuoma lisävaiva ureasäiliön täytöstä sekä säiliön tuoma lisäpaino ja monimutkaisuus. Lisäksi Suomen ilmastossa talven kylmyys tuo haasteensa SCR-järjestelmille. Käytettävän urealiuoksen (AdBlue) jäätymispiste on -11 astetta, joten jollei säiliön lämmitystä ole järjestetty, järjestelmä ei toimi tätä kylmemmässä kelissä liuoksen jäätyessä. Urealiuoksen ominaisuudet myös heikkenevät, mikäli sitä säilytetään yli +30°C lämpötilassa. Lisäksi SCR-katalysaattorin on oltava riittävän kuuma kemialliselle reaktiolle, joten lyhyessä pätkäajossa katalysaattori ei välttämättä ehdi kuumentua tarpeeksi toimiakseen. SCR:llä on mahdollista päästä jopa 95 % vähennykseen pakokaasujen NOx-pitoisuuksissa. SCR-järjestelmää käytetään lähinnä raskaassa kalustossa sekä työkoneissa. Kevyemmässä kalustossa SCR ei vielä ole lyönyt itseään laajalti läpi; joskin muutamissa uusissa ympäristöystävällisyyden kärkimalleissa SCR on jo käytössä. (Bosch 2002, 599; Neste Oil, [viitattu 10.5.2010].)

EGR-järjestelmässä kierrätetään moottorin pakokaasuja takaisin imuilman sekaan, jolloin palolämpötilat sylintereissä laskevat. EGR voidaan toteuttaa joko sisäisellä tai ulkoisella kaasujen kierrätyksellä. Sisäinen kierrätysjärjestelmä säätelee venttiilien avautumista, jolloin osa pakokaasuista jää sylinteriin. Ulkoisessa kierrätyksessä on erillinen venttiili ja putkisto, jotka kierrättävät pakokaasut imusarjaan. Ulkoisissa järjestelmissä on myös usein erillinen vesikiertoinen

jäähdytin kierrätettäville pakokaasuille. Koska sylinteriin imettävään ilmaan jää palamiskelvottomia kaasuja hapen suhteellinen osuus laskee sylinterissä olevassa ilmassa. Happivajaus paloilmassa johtaa alempaan palolämpötilaan. Tämä palolämpötilan lasku vähentää typen oksidien muodostumista. Järjestelmän etuina ovat vähäinen paino sekä yksinkertaisuus. Haittapuolina taas ovat moottorin hyötysuhteen lasku sekä moottorin imukanaviston karstoittuminen. EGR on käytössä sekä kevyessä että raskaassa kalustossa.

3 VESI/METANOLIRUISKUTUKSEN TEORIAA

3.1 Yleistä

Nykyaikaiset polttomoottorit ovat aina jonkinasteinen kompromissi polttoaineen kulutuksen, tehon sekä päästöjen välillä. Nykyiset tiukentuvat päästönormit ovat aiheuttaneet ongelmia moottoreiden muiden ominaisuuksien kanssa, sillä päästöjen tiputtaminen hyväksyttävälle tasolle on huonontanut moottoreiden polttoainetaloutta sekä rajoittanut saatavaa tehoa. Lämpötilat moottorissa ovat myös rajoittaneet moottoreista saatavaa tehoa, erityisesti viritettäessä vakimoottoria. Tällöin eteen tulee useimmiten ottomoottorissa nakutus sekä moottoreissa yleensä palo- ja pakolämpötilan kasvaminen liian suureksi, jolloin männät ja turboahdin ovat vaarassa vaurioitua. Tähän lämpöongelmaan on kehitelty eri ratkaisuja, joista vesiruisutus on yksi.

Ruisutuksen pääasiallinen tarkoitus on siis viilentää moottoriin ahdettavaa ilmaa ja tätä kautta alentaa palamistapahtuman lämpötilaa. Koska dieselmoottoreissa nakutusongelmaa ei ole, ruisutuksen hyöty saadaan dieselpuolella käyttöön alemmista palolämpötiloista sylintereissä, jolloin ruisutusmääriä ja ahtopaineita voidaan turvallisesti kasvattaa moottorin tehon lisäämiseksi.

3.2 Ruisutuksen jäähdyttävä vaikutus

Ruisutuksen ahtoilmaa jäähdyttävä vaikutus perustuu veden ja metanolin höyrystymiseen. Höyrystyessään neste sitoo ahtoilmaasta lämpöä, jolloin ahtoilman lämpötila laskee. Veden ominaislämpökapasiteetti on melko korkea, 4,182 kJ/(K·kg) joten se sitoo höyrystyessään huomattavasti lämpöä. Metanolin

ominaislämpökapasiteetti on noin puolet tästä. Ahtoilman lämpötilan laskiessa ilma myös fysiikan lakien mukaan tiivistyy, jolloin sitä mahtuu sylinteriin enemmän. Kun ilman määrä sylinterissä kasvaa, myös hapen määrä kasvaa samassa suhteessa. Suurempi happimäärä mahdollistaa suuremman polttoainemäärän polttamisen. Tämä taas johtaa korkeampaan teholliseen sylinterin keskipaineeseen, jolloin moottorin teho kasvaa. Välijäähdyttämällä ahtoilma päästään myös samaan vaikutukseen. Viileämpi moottorin imuilma jäähdyttää myös moottoria, jolloin jäähdytysjärjestelmä ei joudu yhtä koville, ja mahdollisista ylikuumenemisongelmista päästään eroon.

Höyryä ja sumua sisältävä imuilma on myös raskaampaa kuin pelkkä ilma, joten imuilman massanhitautteen perustuva imuaaltoahtaminen on teoriassa tehokkaampaa. Tällä tosin ei turbomoottoreissa ole merkitystä.

Kuumaan sylinteriin joutuessaan höyry laajenee voimakkaasti, ja viimeisetkin vesipisarat höyrystyvät viimeistään liekkirintaman kuumuudessa. Kun tiedetään, että litrasta vettä tulee normaalipaineessa noin 1700 litraa höyryä, voidaan päätellä myös tämän paisuvan höyryn tekevän työtä samalla lisäten tehollista keskipainetta sylinterissä. Toisaalta voidaan päätellä, että höyryn suuremman massan lämmittämisen ja pisaroiden höyrystämisen sitoma lämpöenergia on poissa laajentamasta paloilmaa, jolloin höyryn laajenemisesta saatava painehyöty vähenee. Höyry kuitenkin laajenee hieman alemmasta sylinterin lämpötilasta huolimatta voimakkaammin kuin mitä pelkkä ilma, joten tehollinen keskipaine sylinterissä on teoriassa hieman korkeampi ruiskutusta käytettäessä. Tarkkojen tutkimusten tekeminen asiasta vaatisi tarkkoja sylinterin palolämpötilan ja paineen mittauksia, joihin ei kuitenkaan tätä työtä tehdessä ole resurssien puutteessa valitettavasti mahdollisuutta paneutua. (Labonte, [viitattu 10.5.2010].)

3.3 Ruiskutuksen vaikutukset päästöihin

Suurissa meridieseleissä sekä voimalaitoskäytössä on kokeiltu myös muutamia muunlaisia päästönrajoitusjärjestelmiä, jotka perustuvat veden tai muun nesteen ruiskuttamiseen moottoriin.

DWI-järjestelmässä vettä ruiskutetaan korkealla, noin 500 barin, paineella suoraan palotilaan työtahdin aikana. Ohjainlaite säätelee ruiskutettavan veden määrää sekä ruiskutuksen ajoitusta saamiensa parametrien mukaan. Veden höyrystyessä lämpötila sylinterissä laskee jolloin NOx-määrät vähenevät. Tällä menetelmällä on mahdollista alentaa pakokaasujen NOx määrää 40–60 % (Häkkinen, [viitattu 10.5.2010].)

WFE-järjestelmässä vesi ja polttoaine sekoitetaan emulsioksi ennen sylinteriin ruiskuttamista. Höyrystyvä vesi sitoo lämpöä ja alentaa NOx-määrää. Polttoainepisaroissa oleva vesi höyrystyy palorintaman kuumuudessa äkillisesti ja räjäyttää polttoaineen pienemmiksi pisaroiksi, jolloin samalla palaminen tehostuu. WFE:llä saavutetaan noin 15–30 %:n vähennys NOx-päästöissä. (Häkkinen, [viitattu 10.5.2010].)

HAM-järjestelmässä ahtoilma kostutetaan ennen sylinteriin joutumista joko höyryllä tai sumuttamalla vettä. Ahtoilman kostuttaminen ruiskuttamalla vettä imusarjaan on yksinkertaisin määristä järjestelmistä, sillä se vaatii vähiten muutoksia ja lisäosia jo olemassa oleviin moottoreihin. (Häkkinen, [viitattu 10.5.2010].)

3.4 Ruiskutuksen käytön historiaa

Veden ja sen eri seoksien ruiskuttaminen moottoriin ei ole uusi idea, sovelluksia on nähty viimeisen sadan vuoden aikana useita. Useimmat näistä sovelluksista

on asennettu ottomoottoreihin. Dieselmootoreissa ruiskutuslaitteistoja ei olla suuremmin nähty.

Ilmailun saralla ruiskutusta on käytetty eniten, erityisesti sotakoneissa, joissa ruiskutuksen edut on katsottu suuremmiksi kuin niiden mukana lisääntynyt monimutkaisuus ja paino.

Toisen maailmansodan aikana hävittäjien moottoritehovaatimukset kasvoivat huomattavasti koneiden painon kasvaessa aseistuksen ja panssaroinnin myötä. Tällöin otettiin käyttöön vesi/metanoliruiskutuksia, joilla saatiin kasvatettua moottoritehoa lyhytaikaisesti helpottamaan nousua lyhyiltä kiitoradoilta sekä tilanteissa, joissa vaadittiin suuria nousunopeuksia. Saksalaisissa koneissa tämä järjestelmä tunnettiin nimellä MW50, eli Methanol Wasser 50/50 suhteessa. Myös etanolipohjaisia seoksia käytettiin. (Wikipedia, [viitattu 18.5.2010].)

MW50-järjestelmällä saatiin käyttöön dramaattisesti lisätehoa. Pelkällä jäähdyttävällä vaikutuksella moottoriteho kasvoi jopa 100 Hp (75 kW). Kuitenkin ruiskutusta käytettäessä saatettiin käyttää korkeampia ahtopaineita sekä muuttaa sytytyksen ajoitusta, jolloin moottorista saatiin otettua jopa 500 Hp (370 kW) enemmän tehoa merenpinnan tasolla kuin ilman ruiskutusta. On huomattava, että sen aikaisissa lentokoneissa ei käytetty ahtoilman välijäähdystä kuin erikoistapauksissa. (Wikipedia, [viitattu 18.5.2010].)

Mäntämootoreiden aikakauden päätyttyä ruiskutusta ei suinkaan unohdettu, vaan sen todettiin toimivan myös suihkumootoreissa. Erityisesti isoilla tehoasetuksilla moottoreita käytettäessä suihkumootoreidenkin pakokaasujen lämpötilat kasvavat, jolloin moottorit ovat vaarassa vaurioitua. Erityisesti alhaisilla lentopinnoilla hapekkaassa ilmassa pakokaasujen lämpötilat ovat pääasiainen tehoa rajoittava tekijä. Ruiskutuksella saadaan jäähdytettyä turbiinia, jolloin moottoreihin voidaan syöttää enemmän polttoainetta ja moottorista saatava teho kasvaa. Ruiskutus moottorin imuilman sekaan lisää myös moottorissa kiihdytettävän ilman massaa, jolloin työntövoima kasvaa. Suihkumootoreissa ruiskutus valitettavasti viilentää liekkiä polttokammiossa ja lisää palamattoman

polttoaineen määrää pakokaasuissa, jolloin syntyy tunnistettava musta pakokaasuvana ruiskutuksen ollessa käynnissä.

Maaliikenteen saralla ruiskutusta ei olla laajemmin tehdasvarusteena käytetty. Muutamia harvoja sovelluksia ollaan kyllä nähty, esimerkiksi Saab 99 Turbo S:ään sai tilattua tehtaan lisävarusteena vesiruiskutuksen. Eräissä Subarun ja Mitsubishin tehokkaimmissa malleissa on käytetty välijäähdyttimen ulkopintaan ruiskuttavia järjestelmiä, joiden tarkoitus on tehostaa välijäähdyttimen vaikutusta. Maaliikenteessä autojen virittäjät ovat olleet pääasiallinen käyttäjäkunta.

4 JÄRJESTELMÄN ASENNUS

4.1 Asennettava järjestelmä

Markkinoilla olevista valmiista ruiskusarjoista valittiin tähän projektiin Katuauto Suomi yrityksen maahantuoma Devil's Own stage 1 paketti, jonka totesin ominaisuuksiltaan riittävän mainiosti kyseiseen projektiin. Myös sarjan hyvä hinta/laatusuhde tuki tätä valintaa.

Sarjassa tulee mukana kaikki asennukseen tarvittavat mekaaniset ja sähköiset osat. Pumppu ja suuttimet ovat erikseen kyseiseen käyttötarkoitukseen suunnitellut, muut tarvikkeet ovat perusosia. Sarjassa ruiskutuksen ohjaus on toteutettu yksinkertaisella säädettävällä paineakytkimellä, joka ohjaa pumpun kytkentärelettä. Kytkin on mahdollista säätää käynnistämään pumppu halutulla ahtopaineella 0,04 – 0,2 Mpa:n välillä. Lisähintaan olisi saatavilla ohjainlaite, joka lisäisi ruiskutusmäärää ahtopaineen kasvaessa. Ohjaimen määritetään haluttu ahtopaine jolloin ruiskutus alkaa, ja ahtopaine jolloin halutaan täysi ruiskutusmäärä, jolloin ohjain osaa ajaa ruiskutusmäärän halutulla tavalla ylös.

4.1.1 Pumppu

Pumppu (kuvio 1.) on erikoisvalmisteinen korkeapainepumppu sisäisellä säädettävällä paineensäätimellä varustettuna. Ilmoitettu tuotto ilman vastapainetta on 1GPM, eli noin 3,8 l/min ja maksimipaine 1,72 Mpa. Suurilla ruiskutusmäärillä paine luonnollisesti vähän tästä arvosta laskee tilavuusvirran kasvaessa. Pumpun paineensäädintä on mahdollista säätää kumpaankin suuntaan 0,34 Mpa. Tehtaalta tullessaan pumppu on säädetty antamaan 1,37 Mpa. Tällä

painesäädöllä on mahdollista hienosäätää ruiskutusmäärää sekä kompensoida useampia suuttimia käytettäessä paineen alenemista.



Kuvio 1. Pumppu.

4.1.2 Suuttimet

Suuttimet ovat erikoisvalmisteisia ja suunniteltuja tuottamaan mahdollisimman hienojakoinen ja tasainen sumu jo pienellä paineella. Suuttimissa on

sisäänrakennettuna metalliverkkosuodatin; joka estää itse suuttimen tukkeutumisen, jolloin sumun laatu säilyy hyvänä, vaikka joku roska suuttimelle asti kulkeutuisikin. Pieni messinkitappi ohjaa nesteen virtausta suuttimen reiälle. Suuttimen rakenne näkyy kuvioista 2. Suutin kiinnitetään kulmaliittimellä takaiskuventtiiliin (kuvio 3.). Takaiskuventtiili estää ahtopaineen pääsyn nesteletkuun. Mikäli tätä venttiiliä ei olisi, ahtopaine painaisi ennen pumpun käynnistymistä nestelinjat tyhjiksi. Sama venttiili estää myös nesteen valumisen lappona säiliöstä auton seisoessa.



Kuvio 2. Suutin.



Kuvio 3. Takaiskuventtiili ja suutin.

4.2 Kohdejoneuvo

Tässä työssä koemoottorina käytettiin Volkswagenin 1600cc turbodieselmoottoria koodiltaan CY. Kyseistä moottorityyppiä on asennettu useisiin Volkswagenin malleihin vuosina 1982–1986. Moottorikonstruktio on normaali kahdeksanventtiilinen pitkäskuinen rivinelonen yhdellä yläpuolisella hihnakäyttöisellä nokka-akselilla. Sylinterimitat ovat isku 86,4 mm ja sylinterin halkaisija 76,5 mm. Puristussuhde on 1: 23.

Koemoottori on vuosien varrella saanut kokea monia muutoksia lähinnä tehon ja väännön lisäämiseksi. Moottori on uudistettu kuluvilta osiltaan. Männänrenkaat vaihdettiin uusiin, kuten myös kiertokankien, apu-akselin ja kampiakselin laakerit. Vaikka vanhat laakerit olivat hyvässä kunnossa, katsottiin vaihtaminen järkeväksi tehdä moottorin ollessa autosta irti.

Samassa yhteydessä myös kansi huollettiin. Venttiilien ja niiden ohjaimien todettiin olevan toleransseissaan huomattavasta ajosuoritteesta huolimatta, joten ne jätettiin uusimatta. Venttiilit kuitenkin hiottiin pitäviksi. Kannen imu- ja pakokanavat työstettiin paremmin virtaaviksi poistamalla teräviä kanteja ja ylimääräisiä röpelöitä kanavista ja venttiilitaskuista. Kanavien perusmuotoon ja kokoon ei tehty muutoksia.

Imusarjaksi valikoitui AMS:n mittatilauksena valmistettu sarja. Imusarja on muokattu tuplaplenium-malliseksi ilman tasaisemman sylintereille jakaantumisen vuoksi. Perinteisen mallisissa imusarjoissa, joissa ahtoilma tuodaan kammioon päädyistä tai keskeltä, pääsevät sylintereiden imupulssit sotkemaan loppujen sylintereiden virtauksia. Tuplapleniumsarjassa tämä on estetty tuomalla ahtoilma sarjan pääkammioon tarkkaan mitoitettun ja suunnatun raon kautta esikammion koko pääkammion pituudelta.

Vakiopakosarjan virtauksen katsottiin olevan riittävä suuremmallekin turboahdtimele, joten sitä ei lähdetty vaihtamaan. Myös sarjan pieni tilavuus on etu, sillä pakosarjan tilavuus vaikuttaa suoraan turbon heräämisherkkyteen. Vakiopakosarja muokattiin vain sopimaan paikalleen väärinpäin, jotta isomman turboahdtimeksen asennus mahdollistui.

Moottorin vakioturboahdtimeksen tuotto riittäisi maksimissaan suunnilleen 110 kW:n tehoihin, joten se katsottiin liian pieneksi. Vakioahdin olisi myös joutunut toimimaan karttansa ulkopuolella suuremmilla ahtopaineilla, jolloin hyötysuhde olisi laskenut radikaalisti. Uusi isompi turboahdin löytyi 2,5 litraisesta 95 kW Volkswagen Transporterista. Tämän uuden turboahdtimeksen tuoton pitäisi ahtopaineita nostamalla laskennallisesti riittää reiluun 130 kilowattiin asti. Ahdin on VNT-tyyppinen, mikä mahdollistaa ahtopaineiden noston jo matalilta moottorin pyörimisnopeuksilta alkaen. Tällä saadaan laajennettua moottorin käyttökelpoista vääntöaluetta huomattavasti alemmille kierroksille kuin mitä normaalilla turboahdtimeella olisi mahdollista kuitenkään yläkierrosalueen tehon kärsimättä ahtimeksen turbiinipuolen alkaessa ahdistaa virtauksia. Turbiinin johdesiipien säätö on toteutettu yksinkertaisella painekello-ohjauksella, jossa siivet ovat lepoasennossaan noin 25 % auki. Ahtopaineiden noustessa painekello avaa

siipiä, jotta ahtopaine ei pääse karkaamaan liian korkeaksi. Tällä hetkellä painesäätö toimii kohtalaisen hyvin, joskaan ei optimaalisesti. Nyt tasakaasulla maantienopeuksia ajettaessa moottori toimii noin 0,02 Mpa:n ahtopaineella, kun ahtopainetta ei tarvittaisi ollenkaan, Tällöin luonnollisesti pakosarjassa vaikuttaa jonkinmoinen vastapaine, joka huonontaa polttoainetaloutta. Paras tilanne olisi kun johdesiivet olisivat auki ja ahto- sekä pakopaineet minimissään kaikissa muissa tilanteissa paitsi ahtopainetta pyydettyäessä. Optimaalisen siipien ohjauksen valmistaminen vaatisi monimutkaisen sähkö- tai vipuohjauksen. Kuitenkaan tällä saavutettava hyöty ei olisi suhteessa käytettyyn työmäärään. Maksimiahtopaine tällä hetkellä on 0,15 Mpa.

Downpipe ja pakoputki rakennettiin myös kokonaan uusiksi 2,5 tuuman putkesta yhdellä läpivirtaavalla absorbtiovoimentimella varustettuna.

Ahtoputkisto on valmistettu 2 tuuman putkesta ja hydraulikkaletkusta. Keulalle jäähdyttimen eteen asennettiin kennokooltaan 400x300x70 täysalumiininen välijäähdytin. Ahtoputkiston pituudeksi muodostui noin 1500 mm.

Syöttöpumppua on myös muokattu vakiosta. LDA-säätimen kara on muotoiltu uudelleen tehostamaan syötön lisäystä alkuperäistä progressiivisemmin, lisäksi säätimen jousi on muokattu säädettäväksi, jotta säädön alkukohtaa voidaan muuttaa vapaasti. Rajanopeussäätimen jousipakkaa, eli "governoria" on muokattu jäykemmäksi lisäämällä säätimen jousen esijännitystä säätöprikalla, eli vetäviä kierroksia ja kierrosrajoitinta on nostettu. Ennen muokkausta säädin leikkasi syötön 4200 rpm:n tasolla, kun nyt moottori kiertää veto päällä yli 5000 rpm.

Tärkein pumpun muutos kuitenkin on polttoainetta syöttävän nestepään vaihto. Vakiona kyseisessä pumpussa on halkaisijaltaan 9 mm:n nestepää, jolla tuotto loppuu ja ruiskutusaika venyy liian pitkäksi jo noin 95 kW:n moottoriteholla. Tämä korjattiin vaihtamalla nestepää isompaan, halkaisijaltaan 12 mm:n nestepäähän. Isommalla nestepäällä männän pinta-ala on noin kaksinkertainen vanhaan verrattuna, jolloin polttoainetta saadaan maksimisyötöillä ruiskutettua kaksinkertainen määrä 9 mm:n nestepäähän verrattuna. Samalla nestepään mäntää ohjaava nokkalevy vaihdettiin jyrkempään ja korkeammalla nostolla

varustettuun malliin, jolla ruiskutusmäärää voidaan entisestään lisätä ja aikaa lyhentää. Suuremmalla nestepäällä saadaan myös syötettyä sama polttoainemäärä nopeammin sylinteriin kuin vakionestepäällä. Tällä on suuri merkitys palamisen tehokkuuteen. Jos ruiskutusaika venyy liian pitkäksi, palamisen tehokkuus alkaa tippua, jolloin palolämpötilat kasvavat huomattavasti. Tämä vaikuttaa dramaattisesti moottorin päästöihin sekä tehokkuuteen.

Voimansiirto vaati myös muutoksia kestääkseen moottorin kasvaneen väännön ja tehon. Ensimmäisenä vaihdelaatikkoon vaihdettiin kunnon öljyt ja vaihteensiirtovivuston puslat uusittiin. Kytkin on vaatinut enemmän huomiota osakseen. Koska kyseinen auto on jokapäiväisessä käytössä kadulla, kytkimestä ei haluttu liian äkkinäistä on-off-tyylistä kisakytkintä. Tämä olisi ollut helpoin vaihtoehto asentamalla sintterikytkinlevy. Sitä vastoin katsottiin parhaaksi vaihtoehdoksi tässä tapauksessa rakentaa tuplajousiasetus eli pinota paineasetelmaan kaksi lautasjousta päällekkäin. Tällä konstruktiolla saavutetaan kaksinkertainen puristusvoima levyille kuitenkin kytkimen luistatusominaisuuksista suuremmin tinkimättä. Kaksinkertaistuneesta jousivoimasta johtuen myös vaadittu poljinvoima kasvoi kaksinkertaiseksi, mutta tämä on vain tottumuskysymys. Nykyisellään kytkimen väännönkesto on riittävä eikä kytkintä saa luistamaan edes huolimattomalla käytöllä.

4.3 Järjestelmän asennus

4.3.1 Mekaanisten osien asennus

Asennus koeajoneuvoon oli yksinkertaista. Ainoa suurempi ongelma oli konetilan ahtaus. Pumpun luonnollisin paikka löytyi moottoritilan oikealta reunalta ajovalon takaa. Paikka on suhteellisen suojainen ja linjat voidaan vetää helposti. Pumppu ruuvattiin värinäkumien varaan paikoilleen sivupeltiin. Suutinta varten ahtoputkeen hitsattiin kierrenippa ahtoilman virtaukseen nähden myötäkarvaan

kallistettuna. Suuttimen paikka haluttiin mahdollisimman kauas imusarjasta, kuitenkin välijäähdyttimen jälkeen, jotta ruiskutettavalla sumulla on aikaa absorboida mahdollisimman paljon lämpöä ahtoilmaasta. Suuttimen ja pumpun paikka konetilassa ilmenee kuviosta 4.



Kuvio 4. Pumpun ja suuttimen asennus.

Myös ruiskun valmistajan ohjeissa suuttimen paikaksi suositeltiin asennusta juuri välijäähdyttimen jälkeen. Mikäli suutin asennettaisiin ennen välijäähdytintä osa jäähdyttävästä sumusta saattaisi tiivistyä viileään välijäähdytimeen. Kun tarpeeksi nestettä tiivistyy välijäähdytimeen, moottori saattaa imaista liikaa nestettä kerralla, mistä seuraa vesipuristus ja moottorivaurio.

Järjestelmän nestesäiliö asennettiin apukuljettajan puolelle tuulilasin eteen vesikaukaloon. Säiliönä käytettiin 3 litran kanisteria, johon asennettiin

letkulähtönippa ja paikka pinnanvalvonta-anturille. Letkuvedosta pumpulle tuli olosuhteiden pakosta aika pitkä, mutta säiliö kuitenkin on pumpun yläpuolella, joten neste pääsee valumaan pumpulle omalla painollaan. Tämä siksi koska pumppu ei ole imevää tyyppiä. Valmistajan ohjeissa suositeltiin käyttämään ruiskun säiliönä auton lasinpesurin säiliötä. Tämä olisikin ollut helpoin vaihtoehto, koska ylimääräistä säiliötä ei olisi tarvinnut asentaa ja alkuperäisen säiliön paikka olisi linjojen vedon kannalta paras mahdollinen. Kuitenkin välijäähdytintä asennettaessa ahtoputkien linjaus pakotti vaihtamaan lasinpesurinsäiliön huomattavasti alkuperäistä lähes 10 litran säiliötä pienemmäksi. Koska nykyinen pesurinsäiliö on vain 0,7 litraa, olisi sitä saanut olla ruiskua käytettäessä täyttämässä koko ajan. Lisäksi vaarana olisi useammin ajaa pumppua kuivana nesteen loputtua lasinpesimen käytöstä johtuen.

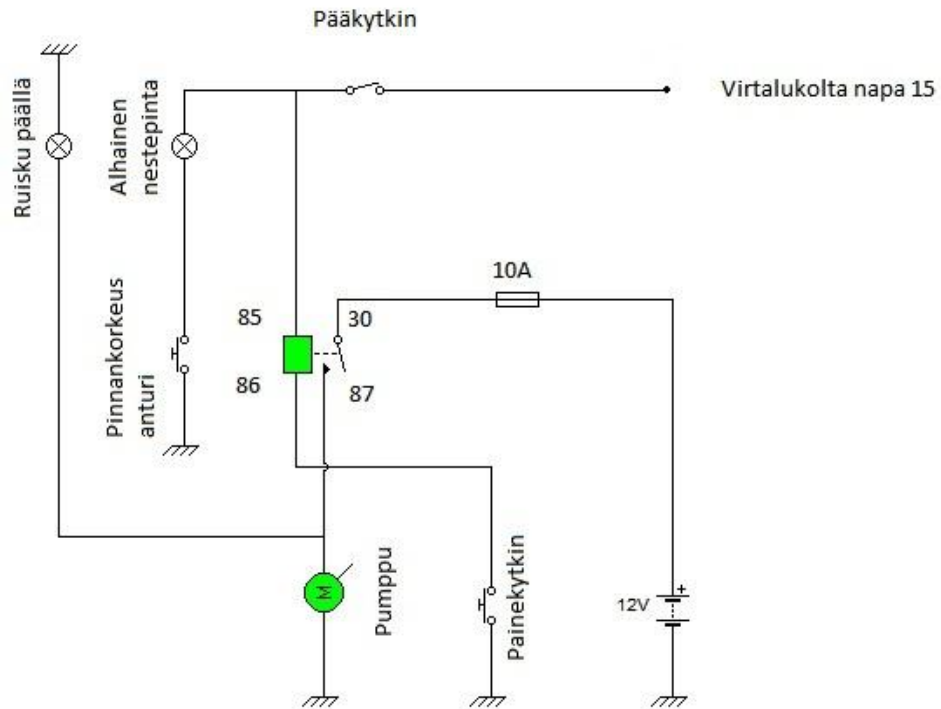
4.3.2 Sähköjärjestelmän asennus

Sarjassa on perusmallissaan vain paineohjaus pumpulle, eli pumppu käynnistyy aina, kun ahtopaine ylittää asetetun rajan. Järjestelmään haluttiin kuitenkin mahdollisuus kytkeä ruiskun pois päältä ja merkkivalot eri toimintatilanteille. Tämän vuoksi alkuperäistä kytkentäkaaviota piti hieman kehittää eteenpäin. Järjestelmään lisättiin merkkivalot pumpun toiminnalle ja säiliön alhaiselle nestepinnalle, sekä kytkin josta pumppu voidaan sammuttaa. Ajatuksissa oli kehittää järjestelmä sellaiseksi, että säiliön nestepinnan laskettua liian alas pumppu sammuisi automaattisesti. Tällainen kytkentä toisi kuitenkin yhden epätoivotun ominaisuuden mukanaan, sillä ajossa nestepinta säiliössä heittelee, jolloin pinnankorkeusanturi katkoisi pumpun virtaa tarpeettomasti, vaikka säiliössä vielä nestettä riittäisikin. Tämän vuoksi pelkkä pinnankorkeuden varoitusvalo katsottiin riittäväksi.

Auton ohjaamoon ruiskun ohjaustaululle vedettiin kolme johdinta. Yksi johdin pumpun releen herätevirralle virtalukolta navasta 15 ja kaksi johdinta merkkivaloille. Pumppua ohjaava kytkentärele ruuvattiin kiinni pumpun viereen

moottoritilaan ja painekeytkin sen läheisyyteen. Kaikki moottoritilan puolelle tehdyt kytkennät tehtiin suojaetuilla abikoliittimillä. Painekeytkimelle haaroitettiin painetieto ahtopainemittarin linjasta.

Ohjaamossa ruiskun ohjaustaulu asennettiin kojelaudan alaosan valmiiseen lisämittaripaikkaan. Alumiinivanteen keskikuppi osoittautui olevan juuri oikean kokoinen tähän tarkoitukseen. Kuppi maalattiin ja siihen porattiin reiät merkkivaloille ja katkaisijalle. Ohjaustaululle vedettiin virta virtalukolta navasta 15. Katkaisijalta virta haaroitettiin alhaisen pinnankorkeuden varoitusvalolle, jonka pinnankorkeusanturi maadoittaa nestesäiliön pinnan laskettua tarpeeksi sytyttäen merkkivalon. Tällöin säiliön pinnan aletessa saa häiritsevästi vilkkuvan varoitusvalon sammumaan kytkemällä ruiskun pois päältä. Pumpun toiminnan merkkivalo maadoitettiin kojelaudan johtosarjaan. Se saa virtansa pumpun kytkentäreleen navasta 87, josta menee virta pumpulle, eli valo palaa aina pumpun käydessä. Katkaisijalta virta virtalukon navasta 15 menee releen napaan 85. Napa 86 on kytketty painekeytkimen kautta maihin. Painekeytkin on normaalisti auki ja sulkeutuu säädetyn painerajan ylittyessä. Painerajaa voi säätää kytkimen säätöpyörästä portaattomasti 0,04–0,2 Mpa:n välillä. Kuviosta 5. ilmenee sähköjärjestelmän rakenne selvemmin.



Kuvio 5. Kytkentäkaavio.

4.4 Ruiskutettava neste

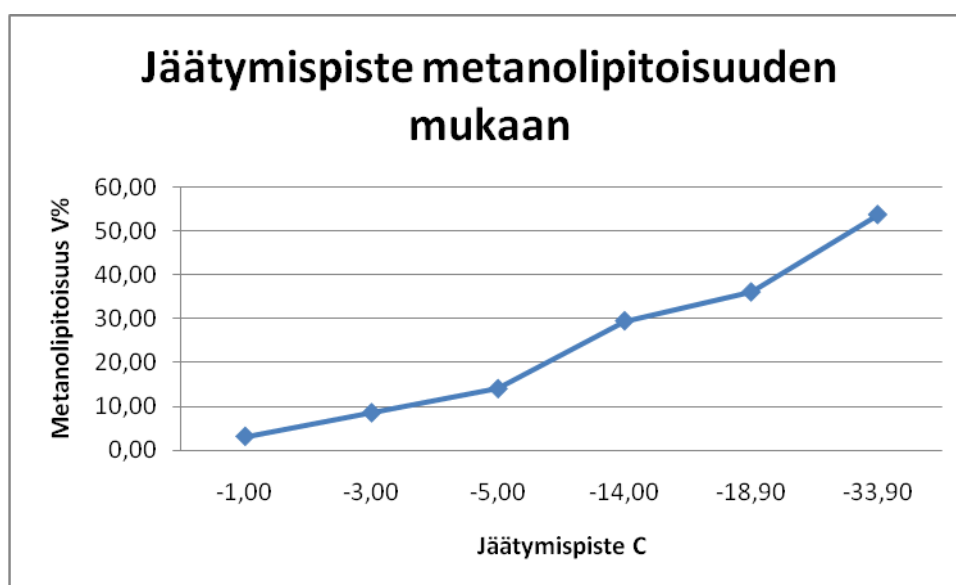
Helpointa olisi ruiskuttaa imuilmaan pelkkä vettä. Vedellä on suhteellisen hyvä ominaislämpökerroin, jolloin vesi sitoo imuilmasta lämpöä ihan hyvin. Parempiakin nesteitä on kuitenkin tarjolla, kuten vesi/metanoli seos.

Koska metanoli on aika hankalaa ja kallista hankkia raakana litratavarana ruiskujen käyttäjät käyttävät tavallista lasinpesunestettä sen sijasta. Lasinpesuneste on pääasiassa vettä ja metanolia. Seassa on toki joitakin peseviä ainesosia, mutta niiden pitoisuudet ovat suhteellisen alhaiset eikä niistä käytännössä ole moottorille haittaa. Myös ruiskun valmistaja sallii lasinpesunesteen käytön. Devil's Ownilla olisi myös valmista ruiskutettavaa seosta myytävänä, mutta sitä ei Suomesta ole saatavilla. Siispä tässä työssä

käytetään lasinpesunestettä laimennettuna sopivaan väkevyyteen. Käytännön yläraja metanolipitoisuudelle dieselmoottoriin ruiskutettaessa on ruiskun valmistajan mukaan 35 %.

Useinkaan lasinpesunesteiden tuoteselostuksissa ei kerrota nesteen metanolipitoisuutta, vaan pakkasenkesto. Onneksi pakkasenkestosta voi kuitenkin laskea metanolipitoisuusprosentin. Oheisesta taulukosta 1 selviää suuntaa antava prosentti pakkasenkeston mukaan.

Taulukko 1. Metanoliprosentti jäätymispisteen mukaan.



On muistettava, että metanoli on myrkyllistä, ja jo pieni määrä aiheuttaa sokeutumisen, siispä metanolin kanssa on oltava varovainen. Etanoli olisi alkoholeista vähemmän vaarallista ainetta ruiskutettavaksi. Etanolin ominaisuudet eivät kuitenkaan ole metanolin veroiset.

5 TESTIAJOT

5.1 Mittalaitteiden asennus testiautoon

Tehodynamometrissä ajettaessa autosta mitattiin kaikki olennaisimmat lämpötilat eli imu-, ahto- ja pakolämpötilat. Näitä mittauksia varten autoon asennettiin pitkällä varrella varustetut nopeasti reagoivat K-tyypin anturit. Imuilman lämpötilaa mitattiin ilmansuodatinkotelosta suodattimen lamellien välistä. Ahtoilman mittausta varten mittapää pujotettiin imusarjan kumiletkun välistä ahtoputkeen. Anturin paikaksi tuli noin 400 mm suuttimen jälkeen. Pakokaasujen lämpötilan mittausta varten anturiin liitettiin erityinen holkki, jolla mittapää saatiin asennettua pakosarjan kollektoriin. Anturit kytkettiin Hioki 8421 -data-loggeriin, jolla lämpötilakäyrät saatiin tallennettua sekä jälkeenpäin siirrettyä tietokoneelle analysointia varten. Maantiellä ajettaessa tarkkailtiin vain pakolämpöjä yksikanavaisella lämpömittarilla.

Pakokaasujen NO_x-pitoisuuksia mitattiin Boschin BEA-pakokaasutesterillä, johon hankittiin tarvittava laajennusosa.

Suoritusarvot mitattiin Boschin FLA 206 nelivetotehodynamometrissä.



Kuvio 6. Auto tehodynamometrissä.

5.2 Testaustapa

Autoa ajettiin tehodynamometrissä sekä moottoritehon mittauksella että vakiokuormaa vastaan. Mittaukset toistettiin ilman ruiskutusta sekä 3- ja 5-GPH-suuttimilla. Teho ja vääntömomenti mitattiin moottoritehonmittaus-ohjelmalla, jossa autoa kiihdytetään rullien massanhitautta vastaan. Vedot ajettiin nelosvaihteella kaasupohjassa.

Päästömittaukset ajettiin vakiokuormaa vastaan pyrkien pitämään kierrokset vakiona. Autoa kiihdytettiin rullilla vauhtiin nelosvaihteella, ja dynamometrissä lisättiin kuormaa vähitellen, jotta ahtopaineet nousivat. Kuormaa lähdettiin kasvattamaan 1000 Nm:n vastuksesta ylöspäin 2000 Nm:iin asti. Moottorin kierrokset pidettiin mahdollisimman tasaisina 3200 rpm:n tasolla kun penkillä jarrutettiin 2000 Nm:n voimalla. Tätä pidettiin yllä hetken, jotta päästöt vakautuvat ja päästöistä otettiin tuloste. Päästömittausten aikana ahtopaine oli noin 0,1 Mpa.

Pakokaasun lämpötiloja mitattaessa autolla ajettiin useita täyskaasukiihdytyksiä nelos ja vitosvaihteilla suljetulla alueella ruiskutuksen kanssa ja ilman. Tulokset kirjattiin ylös käsin.

6 TULOKSET JA ARVIOINTI

6.1 Pakolämpötilojen muutokset maantieajossa

Maantiellä ajetuissa testeissä pakolämpötilojen havaittiin säännönmukaisesti laskevan ruiskutusta käytettäessä, kuten teorian mukaan tuleekin tapahtua.

Täyskaasukiihdytyksessä ilman ruiskua pakolämpötilat nousivat maksimissaan noin 950 asteeseen. Ruiskutus päällä 5 GPH-suuttimella maksimilämpötilat jäivät keskimäärin 900 asteeseen.

6.2 Ahto- ja pakolämpötilojen muutokset tehodynamometrissä ajetuissa testeissä

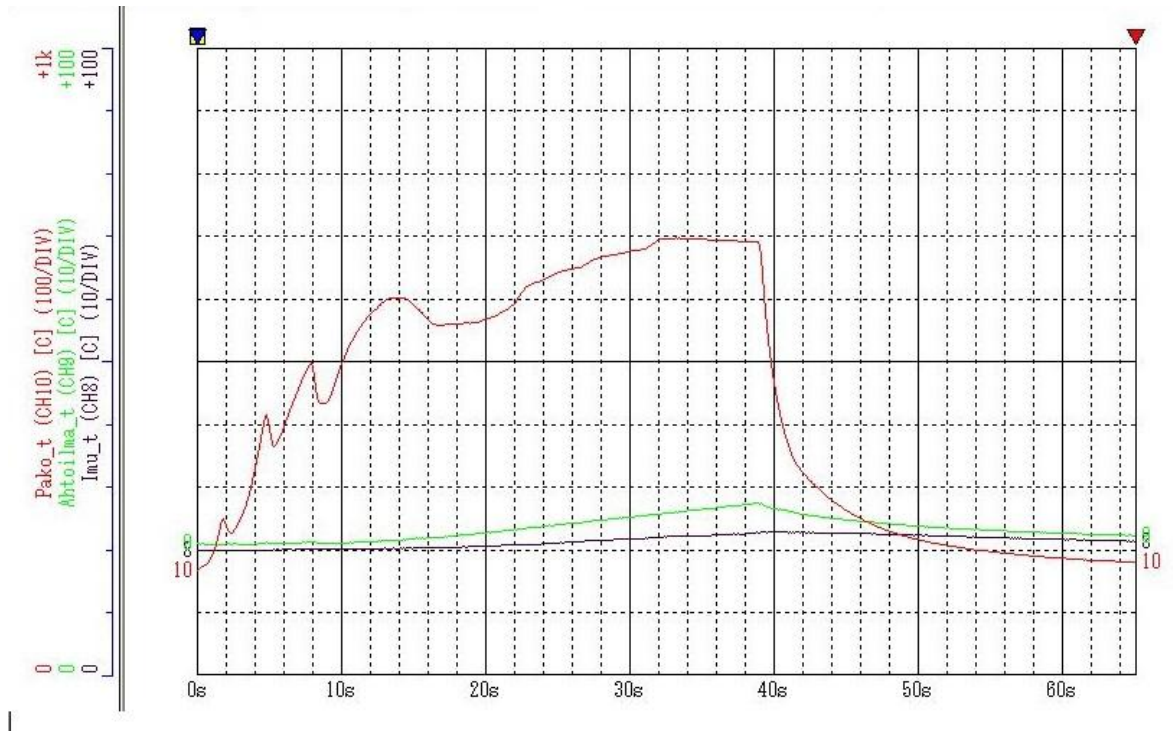
Ahtolämpötilojen kuvaajista kuvioissa 8. ja 9. on selvästi havaittavissa kohta, jossa ruiskutus käynnistyi. Tällä kohdalla ahtoilman lämpötila notkahtaa noin 5 astetta alaspäin. Samalla kohdalla on myös pakokaasujen lämpötilassa havaittavissa selvä lasku. Kuitenkin ahto- ja pakolämpötilakäyrät lähtevät tästä hitaasti nousemaan uudelleen välijäähdyttimen, ahtoputkiston ja moottorin alkaessa lämmitä. Imuilman lämpötilat nousevat myös vedon aikana muutaman asteen, koska moottorin ilmanotto sijaitsee moottorin jäähdyttimen ja välijäähdyttimen takana moottorin vieressä. Mikäli ilmanotto olisi väliaikaisesti siirretty moottorin ulkopuolelle, tästä aiheutuva tuloksien häiriintyminen olisi estetty. Kuitenkin virhe tässä tapauksessa jää vähäiseksi, joten sille ei katsottu aiheelliseksi tehdä mitään.

Kuvaajista huomaa myös pakolämpötilojen jäävän ruiskutusta käytettäessä vajaat 100 astetta alemmaksi kuin ilman ruiskutusta. Pakolämmöt ovat kuitenkin erittäin

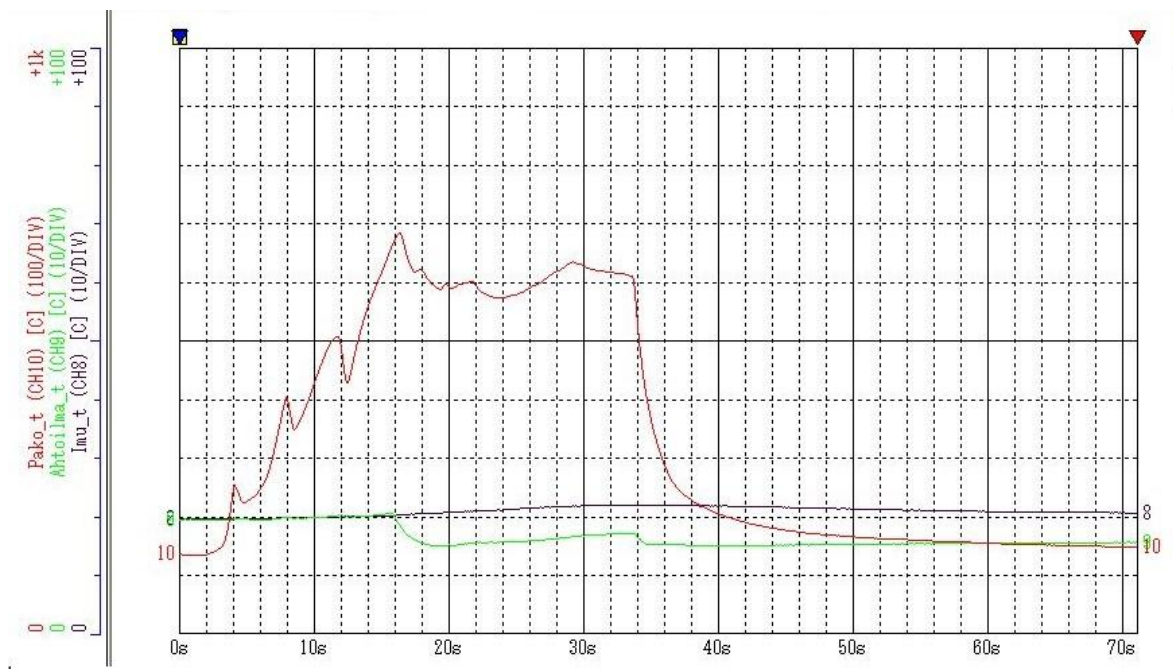
herkkiä heittelemään syötön määrän mukaan. Jo pieninkin kaasupolkimen asennon muutos aiheuttaa ison heiton lämpötilaan. Tämä näkyy myös käyristä selvästi. Tämä heittely aiheuttaakin tuloksiin hieman epätarkkuutta. Ahtolämpötilakäyrissä heittely kaasun asennon mukaan on olematonta välijäähdyttimen toimiessa puskurina lämpötilan nopeille muutoksille. Anturin ja dataloggerin herkkyydet kyllä riittäisivät ilmaisemaan lämpötilojen heittelyn.

Lämpötilatkin käyttäytyivät täysin odotetusti teorian mukaan, eli ruiskutettu neste imee ahtoilmasta lämpöä höyrystyessään. Korkeammilla imuilman lämpötiloilla tai ilman välijäähdytintä ajettaessa ahtoilman lämpötilan muutos olisi odotettavasti suurempi. Ilman ruiskutusta ajetusta käyrästä kuviossa 7. voidaan myös todeta, että välijäähdyttimen koko käytettävälle moottorille on riittävän suureksi mitoitettu ahtolämpötilojen pysyessä muutamia asteita imuilman lämpötilaa korkeampina. Maantiellä pidempiä aikoja vedätettäessä sekä korkeammilla ulkoilman lämpötiloilla ahtoilmanlämpöjen toki voi odottaa nousevan vielä joitain asteita korkeammaksi, mutta jäävän kuitenkin vielä turvallisen alhaiseksi moottorin käytön kannalta.

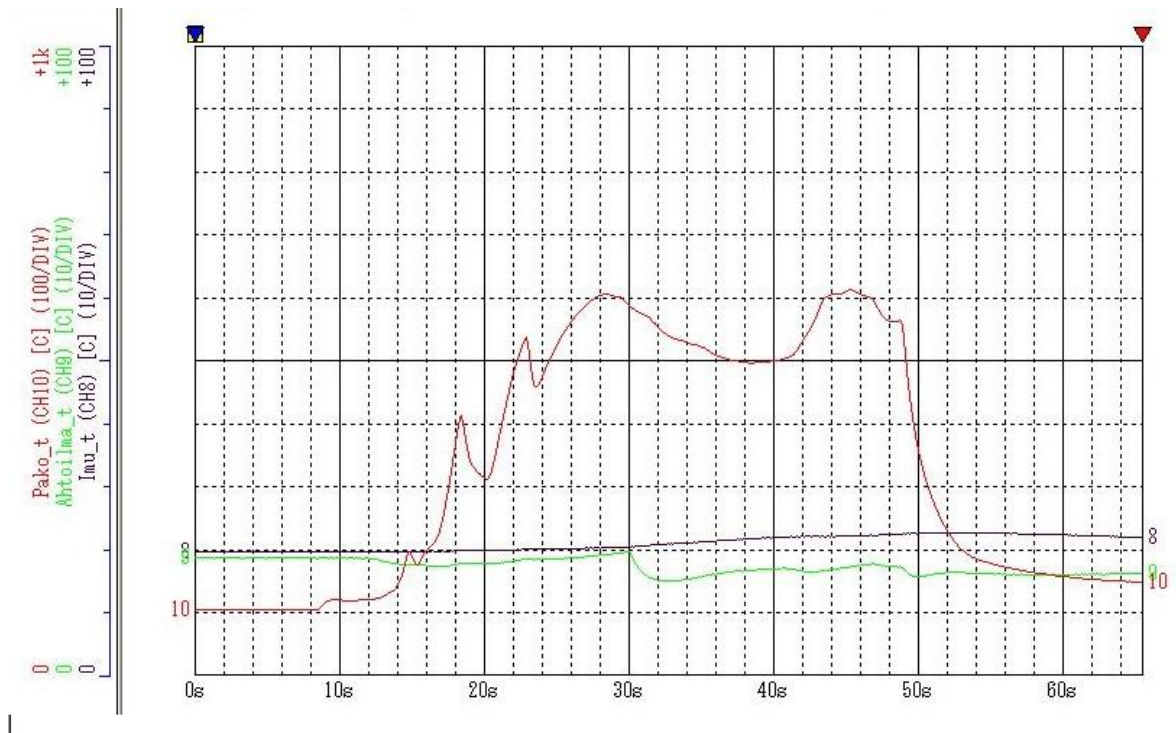
Kuvaajissa punainen käyrä kuvaa pakolämpötilaa, vihreä ahtoilman lämpötilaa ja sininen imuilman lämpötilaa. Asteikoissa imu- ja ahtolämpötiloissa yksi ruutu vastaa 10:tä astetta, ja pakolämpötiloissa yksi ruutu vastaa 100:aa astetta.



Kuvio 7. Lämpötilakuvaaja ilman ruiskutusta.



Kuvio 8. Lämpötilakuvaaja ruiskutus päällä 5 GPH-suuttimella. Ruiskutus lähtee päälle kohdassa $t=16s$.



Kuvio 9. Lämpötilakuvaaja ruiskutus päällä 7 GPH-suuttimella. Ruiskutus lähtee päälle kohdassa $t=30s$.

6.3 Tehon ja vääntömomentin muutokset

Tehossa ja vääntömomentissa on myös huomattavissa selvä muutos ruiskutuksen käytön eduksi. Seuraavissa taulukoissa on verrattu ruiskutus päällä 3- ja 5 GPH-suuttimilla ajettuja vetoja ilman ruiskutusta ajettuun vertailuvetoon. Lisäksi kokeiltiin, lisääkö ruiskutus tehoa ja vääntöä "savuttomilla syötöillä" eli pienellä syöttömäärällä. Syöttöä rajoitettiin pumpun syöttöruuvista säätämällä. Muuten syöttömäärää ei muutettu testien aikana. Myöskään ahtopainetta ei muutettu. Isoilla syötöillä ajetuissa vedoissa ahtopaine nousi 0,15 Mpa:iin, savuttomilla säädöillä ahtopaineet eivät jaksaneet nousta ihan yhtä korkealle, vaan jäivät 0,13 Mpa:n tasolle.

Aluksi ajettiin ilman ruiskutusta kaksi vertailuvetoa, joiden tulokset ovat taulukossa 2. Liitteessä 1. ja 2. on esitetty näiden vertailuvetojen teho- ja vääntömomenttikuvaajat. Vääntömomenttikuvaajasta kuitenkin jäi puuttumaan tekstiosuus, joka muissa tulosteissa oli.

Taulukko 2. Teho ja vääntömomentti ilman ruiskutusta.

Teho ja vääntö ilman ruiskutusta		
	kW	Nm
1.	113,4	268
2.	114	276

Taulukossa 3. on esitetty ruiskutuksen kanssa 3 GPH-suuttimella ajettujen vetojen tulokset. Liitteessä 3. on näiden vetojen teho- sekä vääntömomenttikuvaajat. Teho kasvoi vain noin yhden kilowatin, kun taas vääntömomentissa on havaittavissa suurempi, keskimäärin 40 Nm:n, kasvu verrattuna ilman ruiskutusta ajettuihin vetoihin. Teho- sekä vääntömomentin huippujen paikka laski noin 100 rpm alemmille kierroksille kuin vertailuvetoissa. Käyrien muoto on säilynyt suunnilleen samana. Liitteessä 4. on vertailtu edellämainittuja kuvaajia.

Taulukko 3. Teho ja vääntömomentti ruiskutuksella 3GPH suutin.

Teho ja vääntö ruiskutuksella 3GPH suutin		
	kW	Nm
1.	115,3	287,5
2.	115,3	296,1

Taulukossa 4. on esitetty 5 GPH-suuttimella ajetut tulokset. Liitteessä 4. on esitetty näiden vetojen kuvaajat. Näissä vedoissa on teholumemissakin havaittavissa selvää kasvua, keskimäärin noin 4 kW. Kuitenkin vääntömomenttilukemat jäävät samalle tasolle kuin 3 GPH-suuttimella ajetut vedot, eli noin 40 Nm korkeammiksi kuin vertailuarvot. Käyristä on havaittavissa myös huippuvääntömomentin ja –tehon paikan siirtyminen noin 200 rpm alemmas, 100 rpm alemmas kuin mitä 3 GPH-suuttimella ajatussa vedoissa. Kuitenkin käyrien muoto on pysynyt suunnilleen samana.

Taulukko 4. Teho ja vääntömomentti ruiskutuksella 5 GPH-suuttimella.

Teho ja vääntö ruiskutuksella 5GPH suutin		
	kW	Nm
1.	117,4	290,3
2.	117,8	296,9

Taulukossa 5. ja 6. on esitetty savuttomilla säädöillä ajettujen vertailuvetojen sekä 5 GPH-suuttimella ajettujen vetojen tulokset. Liitteessä 5. on esitetty ilman ruiskutusta ajettujen vertailuvetojen teho-, sekä vääntökuvaajat. Liitteessä 6. on esitetty ruiskutuksen kanssa ajettujen vetojen kuvaajat. Teholumemissa on havaittavissa selvä noin 3 kW:n kasvu, kun taas vääntölukemat ovat laskeneet muutaman Newtonmetrin vertailulukemista. Päinvastoin kuin mitä suuremmilla syötöillä ajetuissa vedoissa, savuttomilla säädöillä ruiskutuksen kanssa ajetuissa vedoissa teho- sekä vääntömomenttihuippujen paikat nousivat noin 200 rpm vertailuvetoihin nähden.

Taulukko 5. Savuttomat säädöt ilman ruiskutusta.

Savuttomat säädöt ilman ruiskutusta		
	kW	Nm
1.	83,3	226,4
2.	84,3	226,8

Taulukko 6. Savuttomat säädöt ruiskutuksen kanssa 5 GPH-suutin.

Savuttomat säädöt ruiskutuksen kanssa 5 GPH-suutin		
	kW	Nm
1.	87,1	221,5
2.	88	221,1

6.4 Muutokset NOx-pitoisuuksissa

NOx-pitoisuuksissa havaittiin ruiskutusta käytettäessä dramaattinen pudotus. 7 GPH-suutinta käytettäessä arvot tippuivat noin neljännekseen ilman ruiskutusta ajetuista arvoista. Taulukosta 7. ilmenevät mitatut arvot eri suuttimilla. Liitteessä 10. ovat pakokaasuanalysaattorin tulosteet. Ensimmäisessä tulosteessa mittaustulokset 1 ja 2 ovat ilman ruiskutusta ajettuja ja mittaustulos 3. 5 GPH-suuttimella ajettu. Valitettavasti toisesta 5 GPH-suuttimella ajetusta vedosta ei saatu tulostetta. Kahdessa erillisessä tulosteessa ovat 7 GPH-suuttimella ajettut vedot. Tulosteista on havaittavissa myös se, että vain NOx-arvot ovat merkittävästi muuttuneet, muut päästöt ovat pysyneet suunnilleen muuttumattomina.

Taulukko 7. NOx-päästöjen määrät.

NOx-päästöjen määrät	Veto 1	Veto 2
Ilman ruiskutusta	386ppm	354ppm
Ruiskutuksella 5GPH suutin	246ppm	
Ruiskutuksella 7GPH suutin	91ppm	131ppm

6.5 Tulosten arviointi

Testeissä saadut tulokset vastaavat hyvin teoriaa, joskin testaustavoista johtuen saattaa tuloksiin päästä joitakin epätarkkuuksia, etenkin päästöissä. Kuitenkin

keskiarvoista selviää, että oikealla alueella on liikuttu. Tulosten pohjalta voidaanakin sanoa, että vesiruiskutus on kokonaisvaltaisesti hyvä tapa lisätä moottorin luotettavuutta ja kestävyyttä viritettäessä, ja se alentaa haitallisia päästöjä huomattavasti.

7 YHTEENVETO

Työlle asetetut tavoitteet saatiin täytettyä hyvin. Tutkimustulokset osoittavat moottorin suoritusarvojen kasvaneen sekä päästöjen ja ahto- sekä pakokaasujen lämpötilojen laskeneen. Tulokset myös peilaavat teoriaa hyvin. Ainoita ongelmia tuotti dynamometrin oikuttelu muutaman vedon aikana. Näissä vedoissa penkin tietokone ei osannut jostain syystä merkata huipputehon paikkaa oikein, jolloin lukemat jäivät liian pieniksi. Muuten työ sujui kirjoituksen takkuilemista lukuunottamatta mallikkaasti. Edes testiauto ei kokenut konerikkoa monista ennustuksista huolimatta, vaikkakin välillä vakiokuormaa vastaan ajettaessa turbon turbiinipesä ja downpipe hehkuivatkin kauniin punaisena pakoputken samalla syytäessä kipinöitä. Tällöin ainakin turbiinin johdesiipiin kertynyt karsta paloi pois estämästä siipien liikettä.

Ruiskutettavan nesteen määrän tarkka optimointi olisi seuraava vaihe. Tässä auttaisi Devil's Ownin stage 2-sarjassa oleva säädettävä ruiskutuksen ohjainlaite, jolla ruiskutuksen saa toimimaan paremmin kuin pelkällä nykyisellä on-off-ohjauksella. Nykyään ruiskutusmäärä on optimaalinen vain yhdessä pisteessä, kun ohjaimella saataisiin seos lähemmäs optimaalista joka tilanteessa. Paras ratkaisu ruiskutusmäärän säätelyyn olisi ohjain, joka ottaa huomioon useita moottorin parametreja ja säätää ruiskutusmäärää näistä laskemansa arvon mukaan. Tässä olisikin hyvä jatkokehittelyn ja tutkimuksen paikka.

LÄHTEET

Bosch. 2002. Autoteknillinen taskukirja. Autoalan Koulutuskeskus OY. 6. Painos. Stuttgart: Robert Bosch GmbH.

Hiilitieto. Ei päiväystä. Happamoittavia oksideja ympäristöön. [Verkkosivusto]. Hiilitieto RY. [Viitattu 10.5.2010]. Saatavana: <http://www.hiilitieto.fi/fi-FI/rikinjatypenoksidit/>

Häkkinen, P. Ei päiväystä. Pakokaasupäästöt ja niiden torjunta. [Verkojulkaisu]. Aalto-Yliopiston teknillinen korkeakoulu. [Viitattu 10.5.2010]. Saatavana: http://www.tkk.fi/Yksikot/Laiva/Opinnot/Kurssit/Kul-24.3400/poj/POJ_luku_13.3_Typenoksidit.pdf

Labonte, Daniel J. Ei päiväystä. Water Methanol Injection on Diesel Engines for Combustion Cooling and Enhanced Engine Performance. [Verkojulkaisu]. Labontemotorsports.com. [Viitattu 10.5.2010]. Saatavana: http://www.labontemotorsports.com/ontrack/DIS_WP.pdf

Neste Oil. Ei päiväystä. AdBlue –urealiuos. [Verkkosivusto]. Neste Oil OY. [Viitattu 10.5.2010]. Saatavana: <http://www.neste.fi/artikkeli.aspx?path=2589;2655;2698;6842>

Wikipedia. Ei päiväystä. MW 50. [Verkkosivusto]. Wikipedia. [Viitattu 18.5.2010]. Saatavana: http://en.wikipedia.org/wiki/MW_50

LIITTEET

Liite 1. Vääntömomenttikuvaajat ilman ruiskutusta.

Liite 2. Tehokuvaajat ilman ruiskutusta.

Liite 3. Vääntömomenttikuvaajat ruiskutuksen kanssa 3 GPH-suuttimella.

Liite 4. Vääntömomenttikuvaajat ilman ruiskutusta verrattuna 3 GPH-suuttimella ajettuun.

Liite 5. Vääntömomenttikuvaajat ruiskutuksen kanssa 5 GPH-suuttimella.

Liite 6. Vääntömomenttikuvaajat ilman ruiskutusta verrattuna 5 GPH-suuttimella ajettuun.

Liite 7. Vääntömomenttikuvaajat savuttomilla säädöillä ajetuista vedoista.

Liite 8. Vääntömomenttikuvaajat savuttomilla säädöillä 5 GPH-suuttimella ruiskutuksen kanssa ajetuista vedoista.

Liite 9. Tehokuvaajat savuttomilla säädöillä ilman ruiskutusta verrattuna ruiskutuksen kanssa ajettuun vetoon.

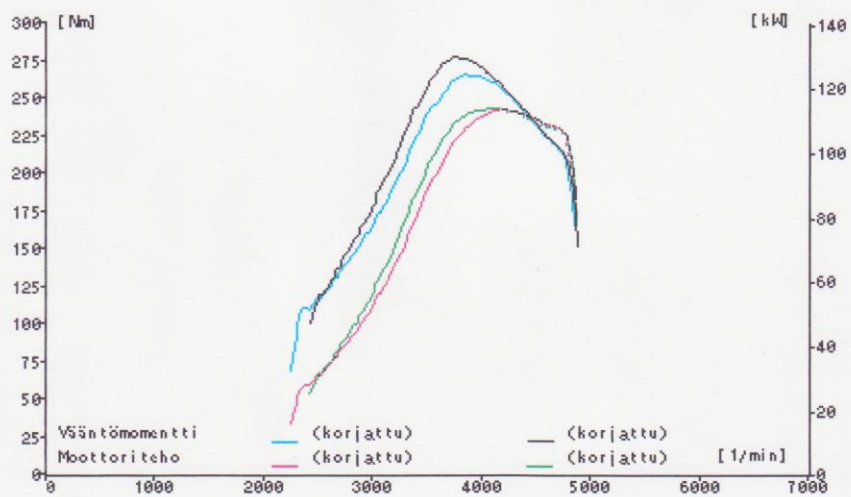
Liite10. Pakokaasutesterin tulosteet.

Liite 1. Vääntömomenttikuvaajat ilman ruiskutusta.

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

5.05.2010
SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio
Törnäväntie 26
60200 SEINÄJOKI
puh 020-1245300

r3U



Liite 2. Tehokuvaajat ilman ruiskutusta.

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

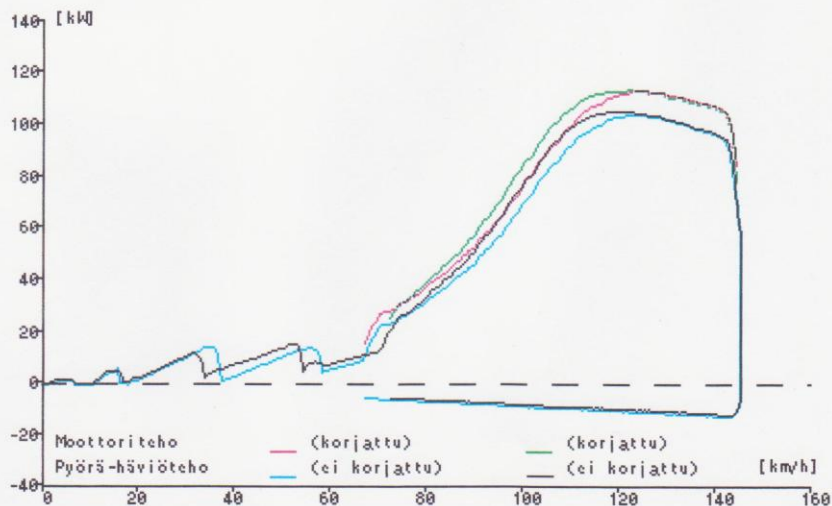
5.05.2010
SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio
Törnäväntie 26
60200 SEINÄJOKI
puh 020-1245300

Moottoriteho #: 2

Pnim. = 110 kW	n tod. = 5000 1/min	v max = 160 km/h
Pmax = 113.4 kW	bei v = 124.0 km/h	n = 4170 1/min
Ptol. = 3.0 %	Ppyörä = 104.6 kW	Phäviö = 10.0 kW
Lämp. = 16 C	Paine = 1016 hPa	k = 0.990 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		

Moottoriteho #: 3

Pnim. = 110 kW	n tod. = 5000 1/min	v max = 160 km/h
Pmax = 114.0 kW	bei v = 122.5 km/h	n = 4120 1/min
Ptol. = 3.6 %	Ppyörä = 105.3 kW	Phäviö = 9.7 kW
Lämp. = 17 C	Paine = 1016 hPa	k = 0.992 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		



Liite 3. Vääntömomenttikuvaajat ruiskutuksen kanssa 3 GPH-suuttimella.

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

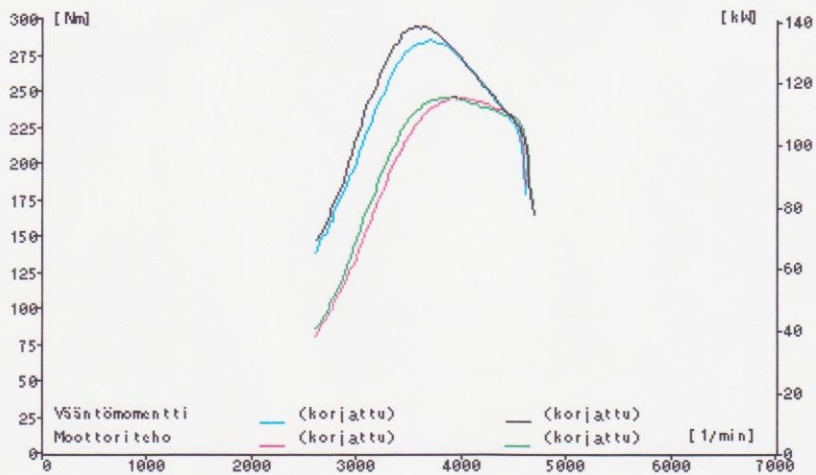
5.05.2010
SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio
Törnäväntie 26
60200 SEINÄJOKI
puh 020-1245300

Vääntömomentti #: 7

Mmax = 287.5 Nm	bei n = 3720 1/min	v = 111.0 km/h
Prim. = 110 kW	n tod. = 5000 1/min	v max = 160 km/h
Pmax = 115.3 kW	bei v = 119.5 km/h	n = 4010 1/min
Ptol. = 4.8 %	Ppyörä = 107.3 kW	Phäviö = 8.7 kW
Lämp. = 18 C	Paine = 1016 hPa	k = 0.994 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		

Vääntömomentti #:10

Mmax = 296.1 Nm	bei n = 3570 1/min	v = 106.5 km/h
Prim. = 110 kW	n tod. = 5000 1/min	v max = 160 km/h
Pmax = 115.3 kW	bei v = 114.0 km/h	n = 3820 1/min
Ptol. = 4.8 %	Ppyörä = 107.7 kW	Phäviö = 8.6 kW
Lämp. = 17 C	Paine = 1016 hPa	k = 0.992 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		



Liite 4. Vääntömomenttikuvaajat ilman ruiskutusta verrattuna 3 GPH-suuttimella ajettuun.

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

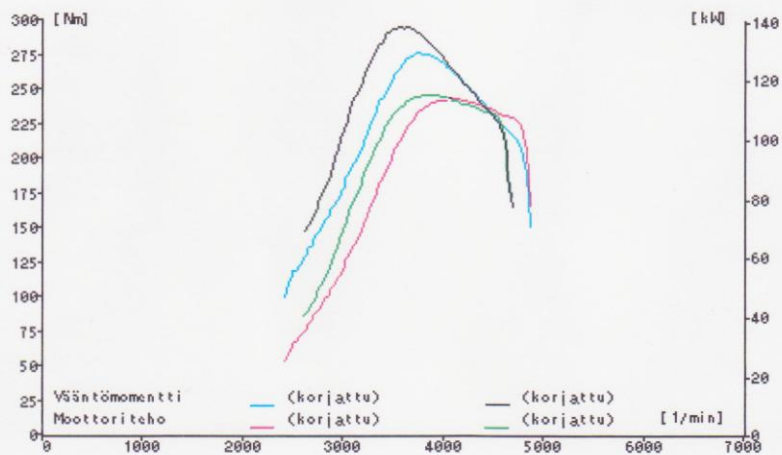
5.05.2010
 SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio
 Törnäväntie 26
 60200 SEINÄJOKI
 puh 020-1245300

Vääntömomentti #: 3

Mmax = 278.1 Nm	bei n = 3770 1/min	v = 112.0 km/h
Pnim. = 110 kW	n tod.= 5000 1/min	v max = 160 km/h
Pmax = 114.0 kW	bei v = 122.5 km/h	n = 4120 1/min
Ptol. = 3.6 %	Ppyörä= 105.3 kW	Phäviö= 9.7 kW
Lämp. = 17 C	Paine = 1016 hPa	k = 0.992 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		

Vääntömomentti #:10

Mmax = 296.1 Nm	bei n = 3570 1/min	v = 106.5 km/h
Pnim. = 110 kW	n tod.= 5000 1/min	v max = 160 km/h
Pmax = 115.3 kW	bei v = 114.0 km/h	n = 3820 1/min
Ptol. = 4.8 %	Ppyörä= 107.7 kW	Phäviö= 8.6 kW
Lämp. = 17 C	Paine = 1016 hPa	k = 0.992 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		



Liite 5. Vääntömomenttikuvaajat ruiskutuksen kanssa 5 GPH-suuttimella.

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

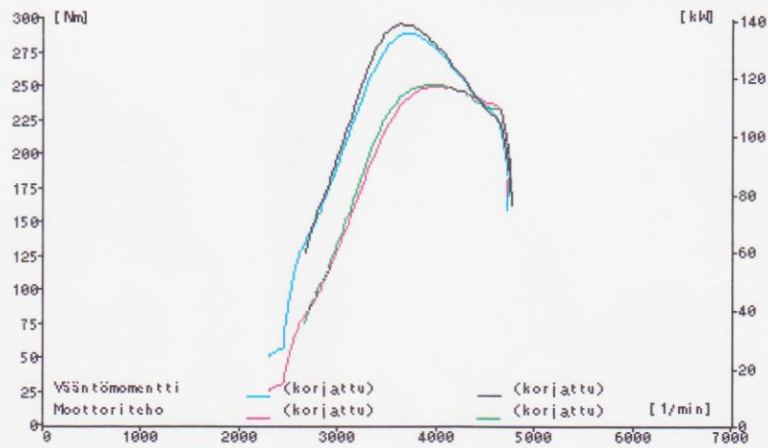
5.05.2010
 SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio
 Törnäväntie 26
 60200 SEINÄJOKI
 puh 020-1245300

Vääntömomentti #: 4

Mmax = 290.3 Nm	bei n = 3690 1/min	v = 110.0 km/h
Pnim. = 110 kW	n tod. = 5000 1/min	v max = 160 km/h
Pmax = 117.4 kW	bei v = 119.0 km/h	n = 3990 1/min
Ptol. = 6.7 %	Ppyörä = 109.1 kW	Phäviö = 9.3 kW
Lämp. = 17 C	Paine = 1016 hPa	k = 0.992 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		

Vääntömomentti #: 6

Mmax = 296.9 Nm	bei n = 3640 1/min	v = 108.5 km/h
Pnim. = 110 kW	n tod. = 5000 1/min	v max = 160 km/h
Pmax = 117.8 kW	bei v = 117.5 km/h	n = 3940 1/min
Ptol. = 7.0 %	Ppyörä = 110.0 kW	Phäviö = 8.8 kW
Lämp. = 17 C	Paine = 1016 hPa	k = 0.992 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		



Liite 6. Vääntömomenttikuvaajat ilman ruiskutusta verrattuna 5 GPH-suuttimella ajettuun.

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

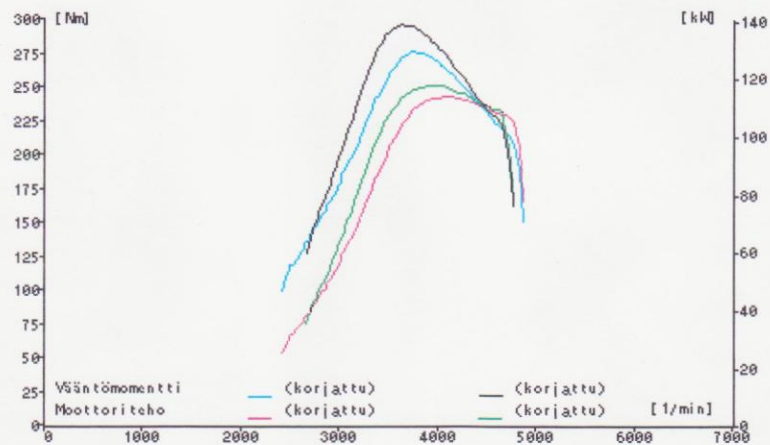
5.05.2010
 SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio
 Törnäväntie 26
 60200 SEINÄJOKI
 puh 020-1245300

Vääntömomentti #: 3

Mmax = 278.1 Nm	bei n = 3770 1/min	v = 112.0 km/h
Pnim. = 110 kW	n tod. = 5000 1/min	v max = 160 km/h
Pmax = 114.0 kW	bei v = 122.5 km/h	n = 4120 1/min
Ptol. = 3.6 %	Ppyörä = 105.3 kW	Phäviö = 9.7 kW
Lämp. = 17 C	Paine = 1016 hPa	k = 0.992 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		

Vääntömomentti #: 6

Mmax = 296.9 Nm	bei n = 3640 1/min	v = 108.5 km/h
Pnim. = 110 kW	n tod. = 5000 1/min	v max = 160 km/h
Pmax = 117.8 kW	bei v = 117.5 km/h	n = 3940 1/min
Ptol. = 7.0 %	Ppyörä = 110.0 kW	Phäviö = 8.8 kW
Lämp. = 17 C	Paine = 1016 hPa	k = 0.992 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		



Liite 7. Vääntömomenttikuvaajat savuttomilla säädöillä ajetuista vedoista.

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

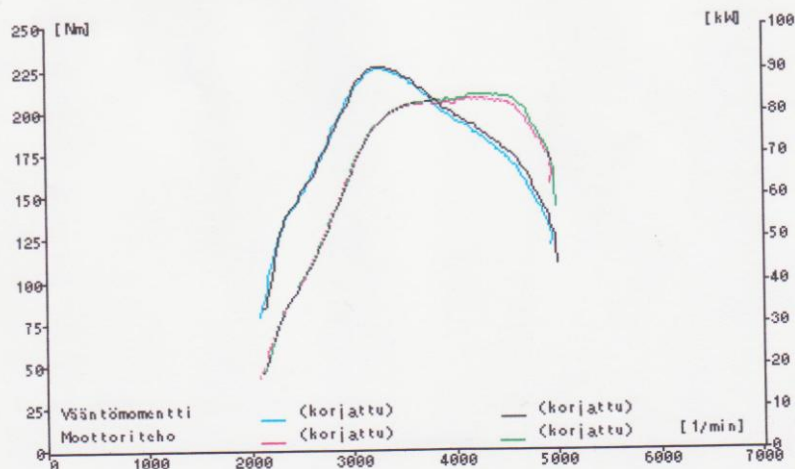
5.05.2010
 SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio
 Törnäväntie 26
 60200 SEINÄJOKI
 puh 020-1245300

Vääntömomentti #:11

Mmax = 226.4 Nm	bei n = 3290 1/min	v = 98.0 km/h
Pnim. = 100 kW	n tod.= 4700 1/min	v max = 160 km/h
Pmoot.= 81.4 kW	bei n = 4600 1/min	v = 137.0 km/h
Ptol. = -18.6 %	Ppyörä= 71.5 kW	Phäviö= 10.6 kW
Pmax = 83.3 kW	bei v = 127.0 km/h	n = 4270 1/min
Ptol. = -16.7 %	Ppyörä= 74.4 kW	Phäviö= 9.6 kW
Lämp. = 17 C	Paine = 1016 hPa	k = 0.992 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		

Vääntömomentti #:12

Mmax = 226.8 Nm	bei n = 3250 1/min	v = 97.0 km/h
Pnim. = 100 kW	n tod.= 4700 1/min	v max = 160 km/h
Pmoot.= 82.9 kW	bei n = 4600 1/min	v = 137.0 km/h
Ptol. = -17.1 %	Ppyörä= 73.1 kW	Phäviö= 10.4 kW
Pmax = 84.3 kW	bei v = 125.0 km/h	n = 4190 1/min
Ptol. = -15.7 %	Ppyörä= 75.7 kW	Phäviö= 9.2 kW
Lämp. = 17 C	Paine = 1015 hPa	k = 0.993 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		



Liite 8. Vääntömomenttikuvaajat savuttomilla säädöillä 5 GPH-suuttimella ruiskutuksen kanssa ajetuista vedoista.

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

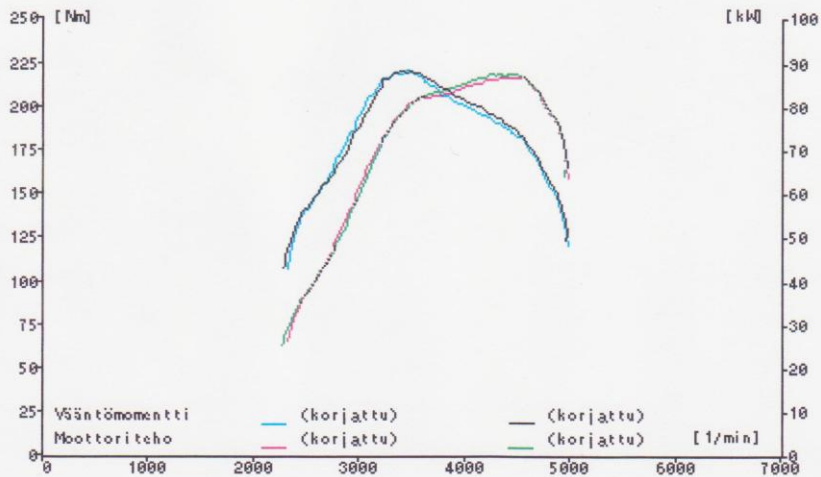
5.05.2010
 SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio
 Törnäväntie 26
 60200 SEINÄJOKI
 puh 020-1245300

Vääntömomentti #:13

Mmax = 221.5 Nm	bei n = 3470 1/min	v = 103.5 km/h
Pnim. = 100 kW	n tod.= 4700 1/min	v max = 160 km/h
Pmoot.= 86.1 kW	bei n = 4610 1/min	v = 137.5 km/h
Ptol. = -13.9 %	Ppyörä= 76.5 kW	Phäviö= 10.3 kW
Pmax = 87.1 kW	bei v = 132.0 km/h	n = 4430 1/min
Ptol. = -12.9 %	Ppyörä= 78.0 kW	Phäviö= 9.8 kW
Lämp. = 17 C	Paine = 1015 hPa	k = 0.993 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		

Vääntömomentti #:14

Mmax = 221.1 Nm	bei n = 3490 1/min	v = 104.0 km/h
Pnim. = 100 kW	n tod.= 4700 1/min	v max = 160 km/h
Pmoot.= 86.2 kW	bei n = 4610 1/min	v = 137.5 km/h
Ptol. = -13.8 %	Ppyörä= 76.5 kW	Phäviö= 10.2 kW
Pmax = 88.0 kW	bei v = 133.5 km/h	n = 4470 1/min
Ptol. = -12.0 %	Ppyörä= 78.7 kW	Phäviö= 9.8 kW
Lämp. = 18 C	Paine = 1015 hPa	k = 0.995 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		



Liite 9. Tehokuvajaat savuttomilla säädöillä ilman ruiskutusta verrattuna ruiskutuksen kanssa ajettuun vetoon.

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

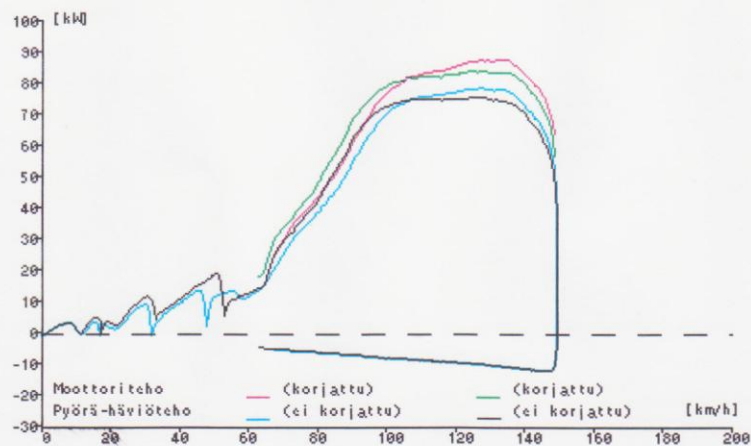
5.05.2010
 SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio
 Törnäväntie 26
 60200 SEINÄJOKI
 puh 020-1245300

Moottoriteho #:14

Pnim. = 100 kW	n tod.= 4700 1/min	v max = 160 km/h
Pmoot.= 86.2 kW	bei n = 4610 1/min	v = 137.5 km/h
Ptol. = -13.8 %	Ppyörä= 76.5 kW	Phäviö= 10.2 kW
Pmax = 88.0 kW	bei v = 133.5 km/h	n = 4470 1/min
Ptol. = -12.0 %	Ppyörä= 78.7 kW	Phäviö= 9.8 kW
Lämp. = 18 C	Paine = 1015 hPa	k = 0.995 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		

Moottoriteho #:12

Pnim. = 100 kW	n tod.= 4700 1/min	v max = 160 km/h
Pmoot.= 82.9 kW	bei n = 4600 1/min	v = 137.0 km/h
Ptol. = -17.1 %	Ppyörä= 73.1 kW	Phäviö= 10.4 kW
Pmax = 84.3 kW	bei v = 125.0 km/h	n = 4190 1/min
Ptol. = -15.7 %	Ppyörä= 75.7 kW	Phäviö= 9.2 kW
Lämp. = 17 C	Paine = 1015 hPa	k = 0.993 (DIN)
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
Turbodiesel		



Liite 10. Pakokaasutesterin tulosteet.

Bosch
 Pakokaasudiagnoosi

 BEA-versio: V2.50-FIN
 AMM-versio: 5575

 Päiväys: 16.04.2010
 Aika: 14:01

 Polttoneste: Bensiini

Mittaustulos 1.

öljyn l.til 15 °C
 Lambda 1.451
 CO 0.036 % til
 CO2 10.42 % til
 HC 9 ppm til
 O2 6.74 % til
 NO 354 ppm til
 COcor 0.052 % til

Mittaustulos 2.

öljyn l.til 15 °C
 Lambda 1.372
 CO 0.034 % til
 CO2 11.62 % til
 HC 8 ppm til
 O2 6.19 % til
 NO 386 ppm til
 COcor 0.044 % til

Mittaustulos 3.

öljyn l.til 15 °C
 Lambda 1.434
 CO 0.095 % til
 CO2 10.47 % til
 HC 9 ppm til
 O2 6.60 % til
 NO 246 ppm til
 COcor 0.131 % til

Bosch
 Pakokaasudiagnoosi

 BEA-versio: V2.50-FIN
 AMM-versio: 5575

 Päiväys: 16.04.2010
 Aika: 14:50

 Polttoneste: Bensiini

Mittaustulos 1.

öljyn l.til 15 °C
 Lambda 1.352
 CO 0.192 % til
 CO2 11.13 % til
 HC 30 ppm til
 O2 5.84 % til
 NO 91 ppm til
 COcor 0.254 % til

Bosch
 Pakokaasudiagnoosi

BEA-versio: V2.50-FIN
 AMM-versio: 5575

 Päiväys: 16.04.2010
 Aika: 13:49

 Polttoneste: Bensiini

Mittaustulos 1.

öljyn l.til 16 °C
 CO 0.028 % til
 CO2 1.85 % til
 HC 29 ppm til
 O2 18.31 % til
 NO 131 ppm til
 COcor 0.224 % til

